

Aus der Augenklinik des Klinikum Westend
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. J. Wollensak

Über die Abhängigkeit der individuellen divergenten
Fusionsbreite von der Beleuchtungsichte bestimmt
mittels einer dynamischen Methode
der Fusionsbreitenmessung

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Kurtz, Gerhard
Berlin

1976

Für die Ausgabe des Klassiker-Werkes
der Freien Universität Berlin
Dank: Prof. Dr. habil. J. Wittenberg

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Augenklinik des Klinikum Westend
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. J. Wollensak

Über die Abhängigkeit der individuellen divergenten
Fusionsbreite von der Beleuchtungsichte bestimmt
mittels einer dynamischen Methode
der Fusionsbreitenmessung

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Kurtz, Gerhard
Berlin

Referent: Prof. Dr. med. J. Wollensak

Korreferent: Privat-Doz. Dr. med. O. Liegl



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 21.9.1976

Einleitung und Problemstellung.

Alter Volksglaube ist, daß Lesen , oder ähnliche, das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges bis an die Grenze belastende Tätigkeiten bei unzureichender Beleuchtung die Augen verderben würden.

Eine Erfahrung, die jeder an sich selbst bereits gemacht hat, ist, daß z.B. längeres Lesen bei geringer Leuchtdichte im Raum zu Kopfschmerzen führen kann; was sicher zum Teil darin begründet ist, daß man anhaltend akkomodiert um schärfer sehen zu können.

Das Lesen stellt eine sehr komplexe Sehfunktion dar, die über das Formensehen und die Sehschärfe hinausgeht, wobei diese, wie alle anderen Sehfunktionen, wesentlich vom Kontrast abhängen. Beim Lesen kommt es besonders auf die Wahrnehmungsgeschwindigkeit d.h. Lesegeschwindigkeit an. Diese steigt u.a. mit Besserung des Adaptionzustandes und mit Erhöhung der Leuchtdichte und des Leuchtdichteunterschiedes zwischen den Schriftzeichen und dem Untergrund, da die Unterschiedsempfindlichkeit und die Sehschärfe positiv beeinflusst wird.

So hängt das Lesevermögen also einerseits vom Funktionszustand des optischen Apparates ab, auf der anderen Seite spielen Kontrastphänomene eine Rolle.

Neben dem schon vorher angeführten ist das Lesen- wie alle beidäugigen Sehvorgänge - auch von der Fusion abhängig. Nun sind erfahrungsgemäß Lesebeschwerden bei ausreichender Beleuchtung erst in höherem Alter auftretende Erscheinungen, bei jüngeren Personen kann es nur bei sehr schlechten Leuchtdichten zu den anfangs erwähnten Beschwerden kommen.

In der vorliegenden Arbeit interessierte, ob auch die Fusion bei jüngeren Personen durch die Beleuchtungsdichte beeinflusst wird, ob also Lesebeschwerden bei schlechter Beleuchtung eventuell auch durch eine ungünstige Beeinflussung der Fusionsbreite mitbedingt sein könnten.

In der Literatur fand ich über diese Problematik nur bei Takao Suketomo "Über die rotatorische Fusionsbreite" eine Andeutung, daß die Fusionsbreite unter anderem von der Beleuchtungsdichte abhängig sei. Quantitative Angaben fehlten.

Wir wollen hier prüfen, ob gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen Beleuchtungsdichte und Fusionsbreite für die Divergenz bei Leuchtdichten von 25 bis 400 Lux, nachzuweisen sind.

Methodik.

Schickt man einen Lichtstrahl durch ein Waver-Prisma, so wird nach bekannten optischen Gesetzen der Zentralstrahl ungebrochen das Prisma durchsetzen.

Zunehmend peripherer liegende Strahlen erfahren jedoch, je weiter entfernt vom optischen Zentrum ihr Durchgang durch die Prismenplatte erfolgt, eine um so größere Ablenkung der Strahlen nach außen.

Der mathematische Zusammenhang zwischen dem Abstand des auf das Prisma treffenden Lichtstrahls vom Zentrum der Prismenplatte und der Ablenkung des Strahls durch die Platte entspricht einer Geraden (Abbildung 1).

Dieses optische Verhalten des Waver-Prisma soll in der vorliegenden Arbeit zur Mikroanalyse sich laufend ändernder Fusionswinkel genutzt werden.

Versuchsaufbau.

Auf ein 3 Meter langes und 10 cm breites Holzbrett, das durch Winkelauflagen so befestigt wurde, daß ein Durchbiegen des Brettes nicht möglich war, wurde im Abstand von 15 cm von der einen Kante des Brettes ein Waverprisma montiert. Der optisch wirksame Durchmesser der Prismenplatte war dabei 110 mm.

Durch ein Schraubgewinde konnte die Prismenplatte in ihrer Höhe so verstellt werden, daß das optische Zentrum der Platte auf die individuelle Pupillenebene der Versuchsperson gebracht werden konnte.

Hinter der Prismenplatte wurden auf das Brett Schienen einer Modelleisenbahn montiert.

In den Abständen 5 cm und 200 cm von der Prismenplatte wurden Umschaltrelais eingebaut, die bei Kontakt mit dem Triebwagen der Modellbahn dessen Fahrtrichtung automatisch ändern. (Abbildung 2)

Die lineare Geschwindigkeit des Modelltriebwagens wurde mit 7 cm / sec konstant gehalten.

An Stelle des Tenders des Triebwagens wurde senkrecht zur Fortbewegungsrichtung ein 10 cm langer und 7 mm dicker roter Stab befestigt, parallel zu diesem Stab liegt ein Schleifer, der sich entlang eines Metermaßes bewegt und dem Versuchsleiter angibt, in welcher Entfernung von der Prismenplatte sich der rote Stab zu jedem Zeitpunkt des Versuches befindet.

Während der Messungen hat die Versuchsperson den roten Stab zu fixieren.

Steht nun der Triebwagen am proximalen Umkehrpunkt, also 5 cm hinter der Prismenplatte, so treffen die Sehstrahlen in Verlängerung der optischen Achsen beider Augen bei der entsprechenden Konvergenzstellung in einem recht zentralen Bereich auf die Waverprismenplatte, d.h. die Ablenkung der Sehstrahlen durch das Prisma ist nur gering. Entfernt sich jedoch der Stab von der Prismenplatte, dann verringert sich die Konvergenzstellung der Augen in Richtung Primärstellung, die das Prisma durchsetzenden Sehstrahlen rücken in zentrumsfernere Areale des Prisma und werden demzufolge stärker abgelenkt (Ablenkung nach außen). Bei einer individuell unterschiedlichen Entfernung des Objektes (roter Stab) von der Prismenplatte gelingt es der Versuchsperson nicht mehr, die abgelenkten Sehstrahlen zu einem Bild zu vereinigen, es treten Doppelbilder auf.

An diesem Punkt der Entfernung des Objektes von der Platte ist die Grenze der Fusionsbreite erreicht, bzw. überschritten. Ein ähnlicher Vorgang ergibt sich, wenn am distalen Umkehrpunkt der Modelltriebwagen wieder in Richtung Beobachter fährt. Die anfänglich weit auseinanderliegenden Doppelbilder des Objektes rücken bei linearer Beschleunigung des Objektes kontinuierlich zusammen, bis sich bei einer wiederum individuell unterschiedlichen Entfernung des Stabes von der Prismenplatte die beiden Doppelbilder zu einem Seheindruck vereinigen.

Es ergibt sich nun die Frage danach, wie die Entfernungen des Objektes von der Prismenplatte, bei denen eben Doppelbilder entstehen oder verschwinden in Fusionswinkel ausgedeutet sind.

Wir gingen bei dieser Fragestellung davon aus, daß die Pupillardistanz durchschnittlich 60 mm beträgt, die Entfernung der Hornhautebene beider Augen zur Prismenplatte konstant 15 cm ist und der Strahlengang jedes Auges durch die Prismenplatte zum Objekt hin die Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks darstellt, dessen Katheten die halbe Pupillardistanz einerseits und die Entfernung des Objektes zum Beobachter andererseits darstellen.

Durch die Prismenplatte wird dieses rechtwinklige Dreieck in zwei kongruente Dreiecke geteilt. So ist es möglich, nach allgemein gültigen mathematischen Beziehungen, den Abstand des Strahlendurchtritts vom Zentrum der Prismenplatte zu errechnen.

Abbildung 3 zeigt diesen Zusammenhang.

Zur Bestimmung des endgültigen Fusionswinkels muß der wie in Abbildung 3 gezeigte Abstand des Strahlendurchtritts vom optischen Zentrum der Prismenplatte aus der Abbildung 1 in einen zugehörigen Winkelwert umgesetzt werden. Dieser Wert muß dann, da es sich ja um eine binoculare Beteiligung handelt, verdoppelt werden.

Versuche.

Es werden 20 Versuchspersonen im Alter von 18-55 Jahren getestet, das Alter von achtzehn Versuchspersonen lag zwischen 18 bis 35 Jahren, eine Versuchsperson (Nr. 17) war 49 Jahre, eine Versuchsperson (Nr. 18) war 55 Jahre alt. Einzige Voraussetzung an die Versuchspersonen war voller Visus und kein manifestes Schielen.

Jede Versuchsperson wird bei den Beleuchtungslichtestufen 25, 50, 100, 200, und 400 Lux, gemessen am Objekt getestet. Bei jeder Beleuchtungsstufe werden sowohl für die Entfernung des Objekts bis zum Auftreten von Doppelbildern wie auch für die Annäherung des Objekts bis zum Verschwinden der Doppelbilder je 10 Einzelmessungen vorgenommen. Das ergibt für die vorliegende Arbeit 2000 Einzelmeßwerte.

Als Beleuchtung dienten vier parallel zu den Schienen der Modelleisenbahn in gleichen Abständen angebrachte Fotoleuchten von je 200 Watt Maximalleistung, die gemeinsam über ein Potentiometer auf die geforderten Leuchtdichten justiert wurden.

Zum Vergleich mit den so erreichten Leuchtdichten wurden Messungen mit im gleichen Abstand von 2 m vom Objekt angebrachten Glühbirnen von je 25 Watt, 40 Watt, 60 Watt und 100 Watt angestellt.

Bei Verwendung einer Leuchte mit Reflexionsschirm ergaben diese 80 Lux, 150 Lux, 200 Lux bzw 400 Lux, bei Verwendung nur der Birne 50 Lux, 70 Lux, 100 Lux bzw 180 Lux.

Versuchsergebnisse.

Als erstes soll tabellarisch für alle Versuchspersonen bei den getesteten fünf Beleuchtungsstufen der Mittelwert der Entfernung des Objektes von der Prismenplatte beim Auftreten von Doppelbildern und zwar sowohl bei Annäherung des Objektes (Reihe I) wie bei Entfernung des Objektes (Reihe II) dargestellt werden.

Weiterhin werden die maximalen Streubreiten angegeben (= 3 Sigma quer)

VP	Lux	Entfernung des Objektes von der Prismenplatte			
		I	Streuung	II	Streuung
1	25	61,7	6,8	115,7	7,1
	50	81,5	8,3	122,5	8,2
	100	80,8	8,1	123,6	8,7
	200	80,1	4,8	124,5	7,0
	400	91,0	6,8	146,9	7,1
2	25	38,8	2,3	64,1	6,3
	50	35,1	2,3	59,5	3,4
	100	33,9	3,6	62,4	3,4
	200	33,3	2,8	60,4	1,8
	400	35,7	2,0	67,0	4,7
3	25	66,9	9,3	93,9	6,2
	50	83,3	6,6	108,8	7,2
	100	89,1	8,3	116,6	7,3
	200	93,7	8,3	126,1	4,3
	400	108,7	8,7	131,8	8,3
4	25	76,6	4,5	88,8	6,2
	50	79,4	3,1	99,6	3,1
	100	90,4	4,6	109,7	4,6
	200	95,0	7,1	116,2	6,4
	400	97,2	5,1	122,6	4,7
5	25	72,1	5,6	90,6	2,8
	50	70,8	8,4	87,5	3,0
	100	73,7	1,1	84,4	2,0
	200	71,7	3,1	87,0	2,0
	400	72,9	1,1	86,2	0,2

VP	Lux	Entfernung des Objektes von der Prismenplatte			
		I	Streuung	II	Streuung
6	25	31,2	1,8	58,2	3,1
	50	30,7	1,1	56,8	3,3
	100	31,5	1,5	51,1	2,6
	200	31,5	1,4	55,2	2,1
	400	35,7	1,3	55,6	1,8
7	25	39,7	3,5	51,0	1,3
	50	48,8	7,2	55,8	3,3
	100	56,3	6,2	59,9	3,5
	200	62,2	3,6	69,3	5,2
	400	62,3	3,2	68,5	4,0
8	25	53,3	5,1	76,2	3,2
	50	50,3	2,9	75,4	2,0
	100	51,2	3,8	77,7	2,4
	200	60,4	3,3	82,7	3,6
	400	55,7	2,0	81,6	2,9
9	25	31,0	2,0	55,5	2,2
	50	35,2	2,2	55,1	2,2
	100	38,4	1,5	57,8	1,6
	200	39,1	1,6	59,8	3,0
	400	39,8	1,8	58,2	1,4
10	25	51,9	1,8	67,4	4,1
	50	51,5	2,1	63,8	3,1
	100	50,4	2,7	59,3	2,7
	200	49,1	2,5	59,3	2,0
	400	50,3	1,5	59,0	2,0
11	25	43,3	4,0	67,7	3,1
	50	48,1	1,9	66,9	2,4
	100	50,3	1,9	66,3	2,3
	200	51,6	3,0	65,9	1,2
	400	52,0	2,4	69,4	3,0
12	25	37,8	2,0	60,4	2,5
	50	39,8	3,3	60,2	2,7
	100	40,7	3,5	59,1	2,9
	200	39,7	2,7	57,6	2,1
	400	39,3	3,5	61,1	2,7
13	25	47,4	3,1	83,9	2,8
	50	48,4	1,1	74,2	1,5
	100	51,2	1,3	85,6	2,5
	200	53,9	0,7	85,3	2,7
	400	55,4	2,0	88,4	2,5

VP	Lux	Entfernung des Objektes von der Frismen- platte			
		I	Streuung	II	Streuung
14	25	47,7	2,5	65,0	3,0
	50	52,2	2,5	63,4	2,3
	100	53,9	1,4	62,5	1,8
	200	53,4	1,5	62,1	0,8
	400	54,1	2,1	63,0	2,0
15	25	38,0	2,1	55,9	2,1
	50	41,8	1,7	57,0	2,3
	100	41,3	1,3	56,4	3,1
	200	42,1	1,4	58,7	2,1
	400	43,8	1,1	59,0	2,7
16	25	46,7	2,1	62,1	1,4
	50	52,1	2,8	63,0	2,3
	100	53,9	1,9	64,8	1,0
	200	57,9	2,1	66,3	1,4
	400	60,0	2,3	68,1	1,2
17	25	39,7	1,5	56,8	3,5
	50	44,9	1,6	58,0	1,8
	100	46,7	1,4	60,3	0,8
	200	49,6	1,0	59,5	1,5
	400	50,2	1,3	62,1	1,3
18	25	34,0	2,0	44,5	0,7
	50	34,6	0,8	46,1	1,0
	100	38,9	1,0	50,8	1,5
	200	39,7	1,7	49,5	0,8
	400	38,0	1,0	48,2	1,3
19	25	52,4	2,5	102,1	3,8
	50	63,3	2,1	117,5	3,4
	100	63,8	2,7	116,4	3,6
	200	70,0	3,8	121,1	3,1
	400	71,6	2,3	120,2	3,0
20	25	43,0	2,4	58,3	1,8
	50	45,9	2,0	60,3	1,4
	100	49,5	1,5	64,3	2,1
	200	51,3	1,7	66,4	1,6
	400	53,2	2,2	69,7	1,3

Wie sich aus der tabellarischen Aufstellung der Meß-
ergebnisse bereits erkennen läßt, reagieren die Ver-
suchspersonen : 1,3,4,7,9,11,13,14,15,16,17,18,19 und
20 auf steigende Leuchtdichten am Objekt mit einer
Vergrößerung des Objektabstandes von der Prismenplatte
bis zum Entstehen manifester Doppelbilder und damit
mit einer Vergrößerung des Fusionswinkels für die
Divergenz mit steigender Leuchtdichte.

Dabei ist aus den Verlauf der Kurven in Abbildung 4
eindeutig zu erkennen, daß die Zunahme des Objekt-
abstandes und damit des Fusionswinkels am größten im
Bereich von 25 bis 50 Lux ist. Von 50 bis 100 Lux steigt
die Kurve im allgemeinen noch recht gut an, wird im
Bereich von 100 bis 200 Lux zunehmend flacher um ab
200 Lux schließlich auf ein Endniveau einzupendeln.
Dieses Endniveau scheint bei den Versuchspersonen: 2,5,
6,8,10,12 bereits im gesamten Bereich der von uns geprüf-
ten Leuchtdichten erreicht zu sein. Es wäre möglich, daß
bei diesen Probanden der steile Anstieg des Fusions-
winkels in Leuchtdichtebereichen unter 25 Lux zu finden
ist. Doch das kann nur eine hypothetische Feststellung
sein. Hierzu Abbildung 5.

Ähnliche Ergebnisse wie für die Meßreihe I für die
Annäherung des Objektes ergeben sich auch für die Meß-
reihe II (Entfernung des Objektes).

Anschließend soll die Abbildung 6 noch die Mittelwerte
aller Versuchspersonen bei Entfernung und Annäherung
des Objektes zeigen.

Aus dem Mittelwert aller Versuchspersonen ergeben sich hier als Berechnungsbeispiel gezeigt, folgende Änderungen der Fusionswinkel in Abhängigkeit von der Leuchtdichte am Objekt:

Für die Annäherung: bei	25 Lux	4,92 Grad
	50 Lux	5,02 Grad
	100 Lux	5,06 Grad
	200 Lux	5,10 Grad
	400 Lux	5,14 Grad

Das ergibt insgesamt eine Änderung des Fusionswinkels im Bereich von 25 bis 400 Lux Leuchtdichte am Objekt von 0,22 Grad.

Für die Entfernung des Objektes beträgt diese Änderung des gesamten Fusionswinkels im gleichen Leuchtdichtebereich nur 0,09 Grad, wie aus der untenstehenden Tabelle zu entnehmen ist.

Für die Entfernung: bei	25 Lux	5,34 Grad
	50 Lux	5,36 Grad
	100 Lux	5,38 Grad
	200 Lux	5,40 Grad
	400 Lux	5,43 Grad

Zusammenfassung.

Aus der vorliegenden Arbeit ergibt sich, entsprechend der Arbeit von T. Suketomo, die eine Abhängigkeit der Fusionsbreite von der Beleuchtungsichte beschreibt, daß bei 14 von 20 Versuchspersonen eine eindeutige Reaktion der Fusionsbreite auf unterschiedliche Leuchtdichten und zwar besonders in einem Bereich von 25 bis 100 Lux vorhanden ist, also innerhalb eines Bereiches, der bei den zum Vergleich angestellten Messungen mit einer Glühbirne ohne Reflexionsschirm bis zur Verwendung einschließlich der 60 Watt Birne noch nicht überschritten wurde, bei Verwendung der Leuchte mit Reflexionsschirm ergibt nur die 25 Watt Birne eine in diesem Bereich liegenden Wert. Bei stärkeren Lichtintensitäten ändert sich die Fusionsbreite (nach der graphischen Darstellung Abbildung 5) kaum mehr.

Der Kurvenverlauf der Abhängigkeit des Fusionswinkels von der Leuchtdichte entspricht nicht einer Geraden, sondern augenscheinlich einer Exponentialfunktion. Bei den restlichen 6 Personen, die nicht auf steigende Lichtintensitäten mit einer Zunahme des Fusionswinkels antworteten liegt die Hypothese nahe, daß sie sich auch bei 25 Lux Leuchtdichte am Objekt schon im Bereich der maximalen Fusionsmöglichkeiten befinden.

Die unterschiedlichen Fusionswinkel bei Annäherung und Entfernung des Objektes, die auch E. Fregnan entsprechend bei seinen Untersuchungen mit der Berensschen Prismenleiter feststellte, dürften auf physiologische Bahnungs- und Hemmungsvorgänge zurückzuführen sein.

Die beschriebene Abhängigkeit der divergenten Fusionsbreite von der Beleuchtungsichte dürfte jedoch bei Lesebeschwerden keine Rolle spielen, da derart extrem schlechte Beleuchtungsverhältnisse wohl auch unter ungünstigen Bedingungen nicht vorkommen.

Literatur.

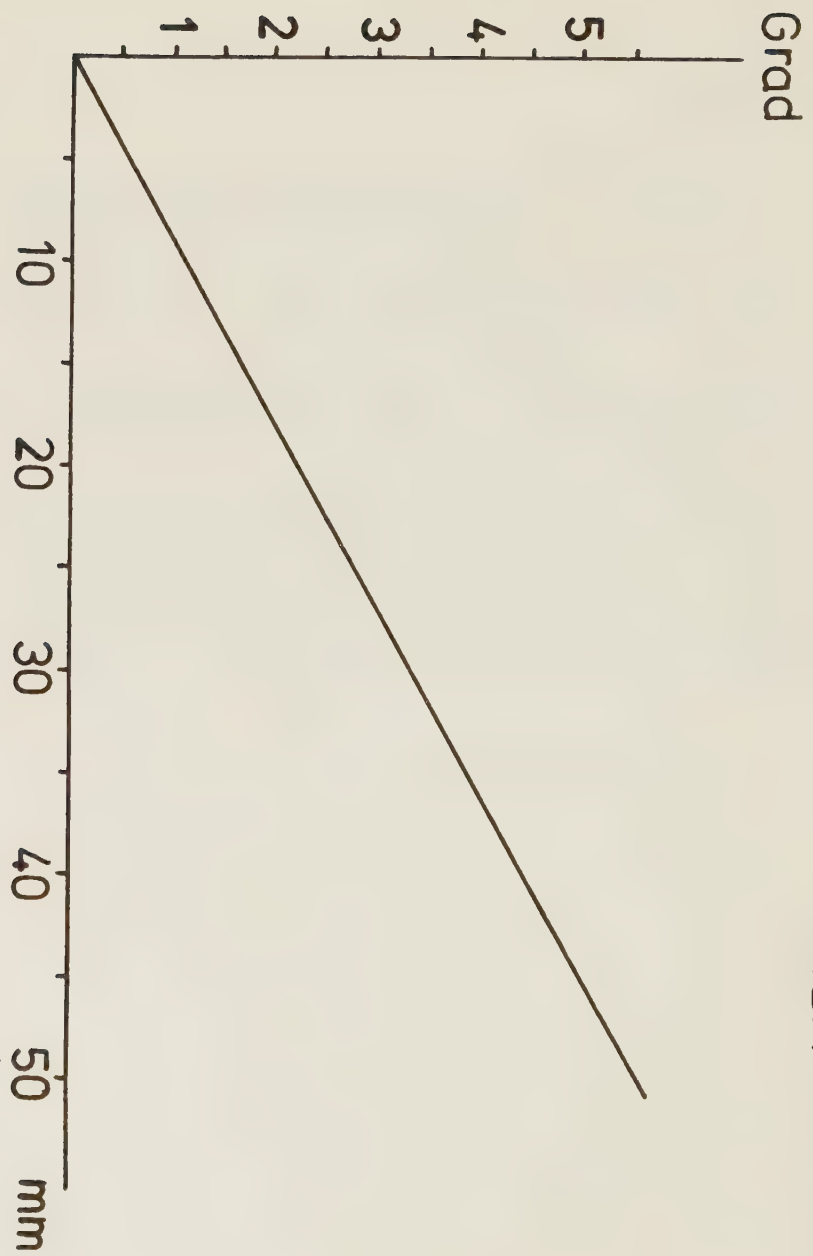
1. Takao Suketomo Über die rotatorische Fusionsbreite
Acta Soc. ophtalm. jap. 40 1936
2. Ettore Fregnan Die Fusionsreflexe
(Clin. Oculist. Univ. Padova)
Arch. Ottalm. 60 1956
3. Ettore Fregnan Verhalten der Fusionsbreite im Verlauf
wiederholter Reizungen mit adduzierenden
Prismen
(Ist. di Clin. Oculist., Univ. Padova)
Ann. Ottal. 84 1958
4. Kellersohn Beleuchtung und Sehen
Méd. prat. 14 , Nr. 175 1958
5. Schober Das Sehen
Band 1 und Band 2
VEB Fachbuchverlag Leipzig 1964

Lebenslauf

Am 29.4. 1948 wurde ich in Berlin geboren, als zweiter Sohn des praktischen Arztes Dr. med. Joachim Kurtz und dessen Ehefrau Hertha Kurtz geb. Schlüter. Nach Absolvierung der Grundschule besuchte ich ab Ostern 1960 das Humboldt- Gymnasium in Berlin- Tegel, wo ich im Frühjahr 1967 das Abitur bestand. Ab Beginn des Sommersemesters 1967 war ich an der Freien Universität Berlin als Student immatrikuliert. Nach dem Sommersemester 1969 legte ich das Physikum ab, nach dem Wintersemester 1972/73 begann ich mit dem medizinischen Staatsexamen, das ich im August 1973 abschloß.

Vom Oktober 1973 bis Oktober 1974 leistete ich im Kreiskrankenhaus Rahden/Westf. meine Medizinalassistentenzeit ab, während dieser Zeit arbeitete ich viereinhalb Monate auf der internen Abteilung und siebeneinhalb Monate auf der chirurgischen Abteilung. Seit Oktober 1974 bin ich auf der chirurgischen Abteilung des Kreiskrankenhauses Rahden/Westf. als Assistenzarzt beschäftigt.

ABB. 1



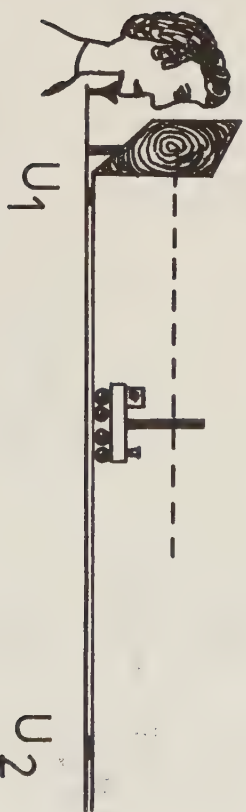
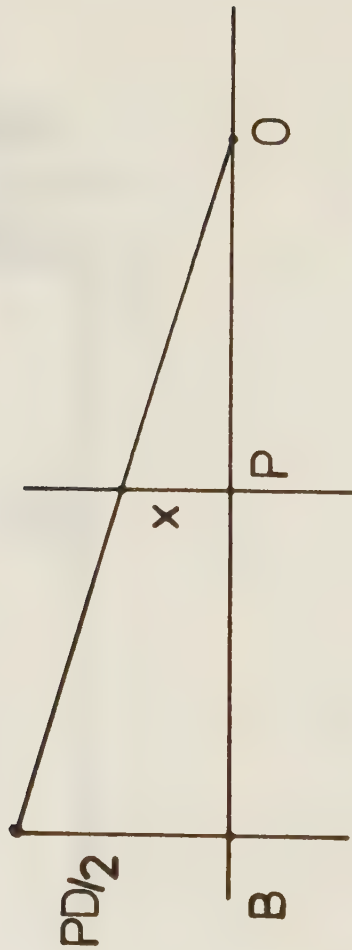


ABB. 2

ABB. 3



$$x = \frac{PD/2 \cdot \overline{PO}}{\overline{BO}}$$

ABB.4

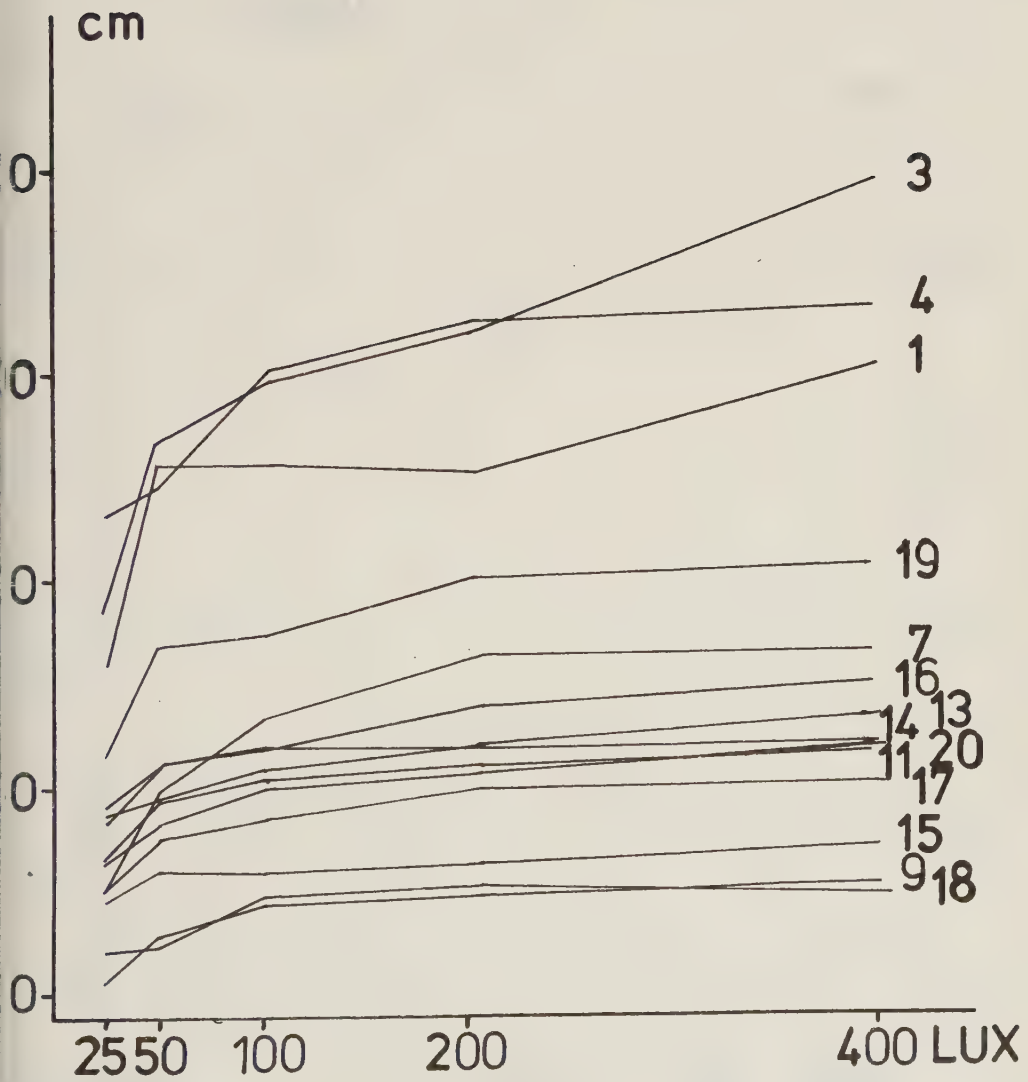


ABB.5

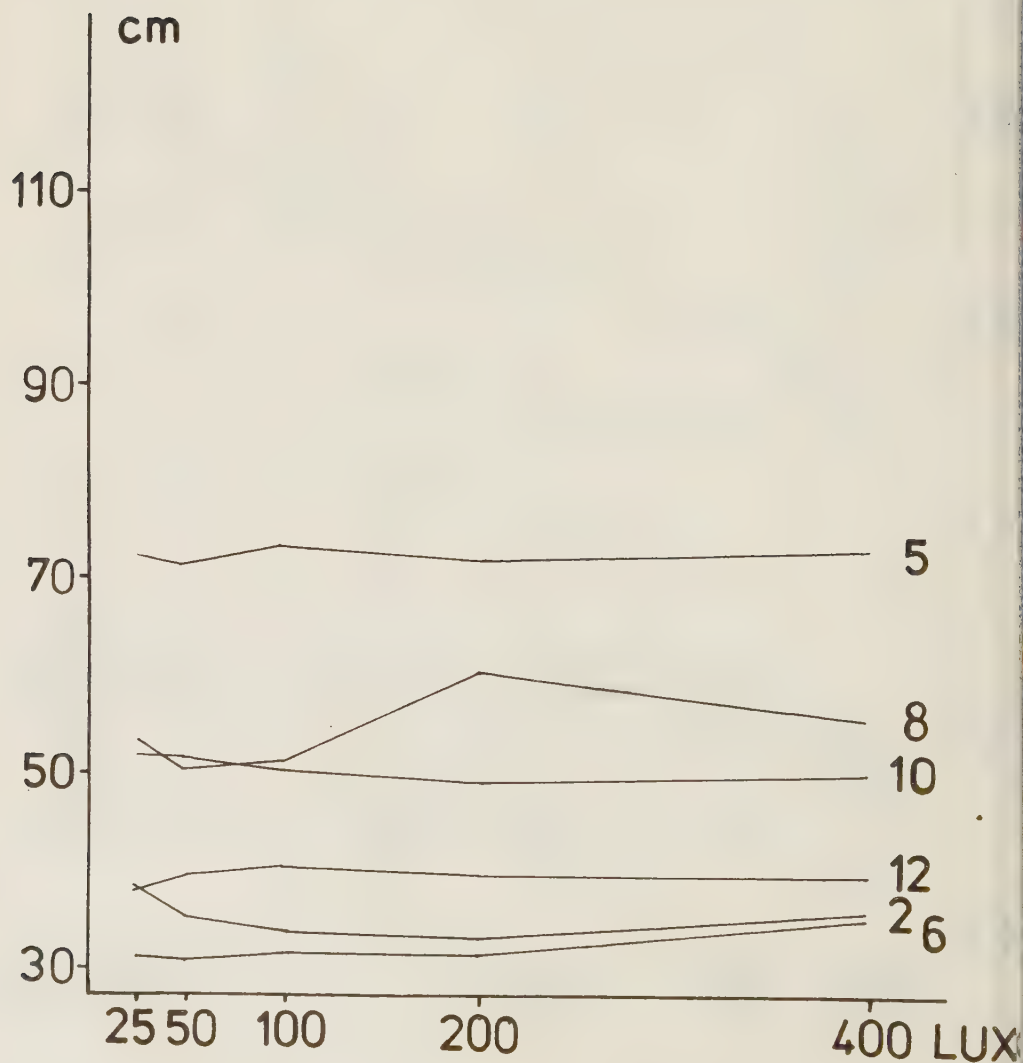
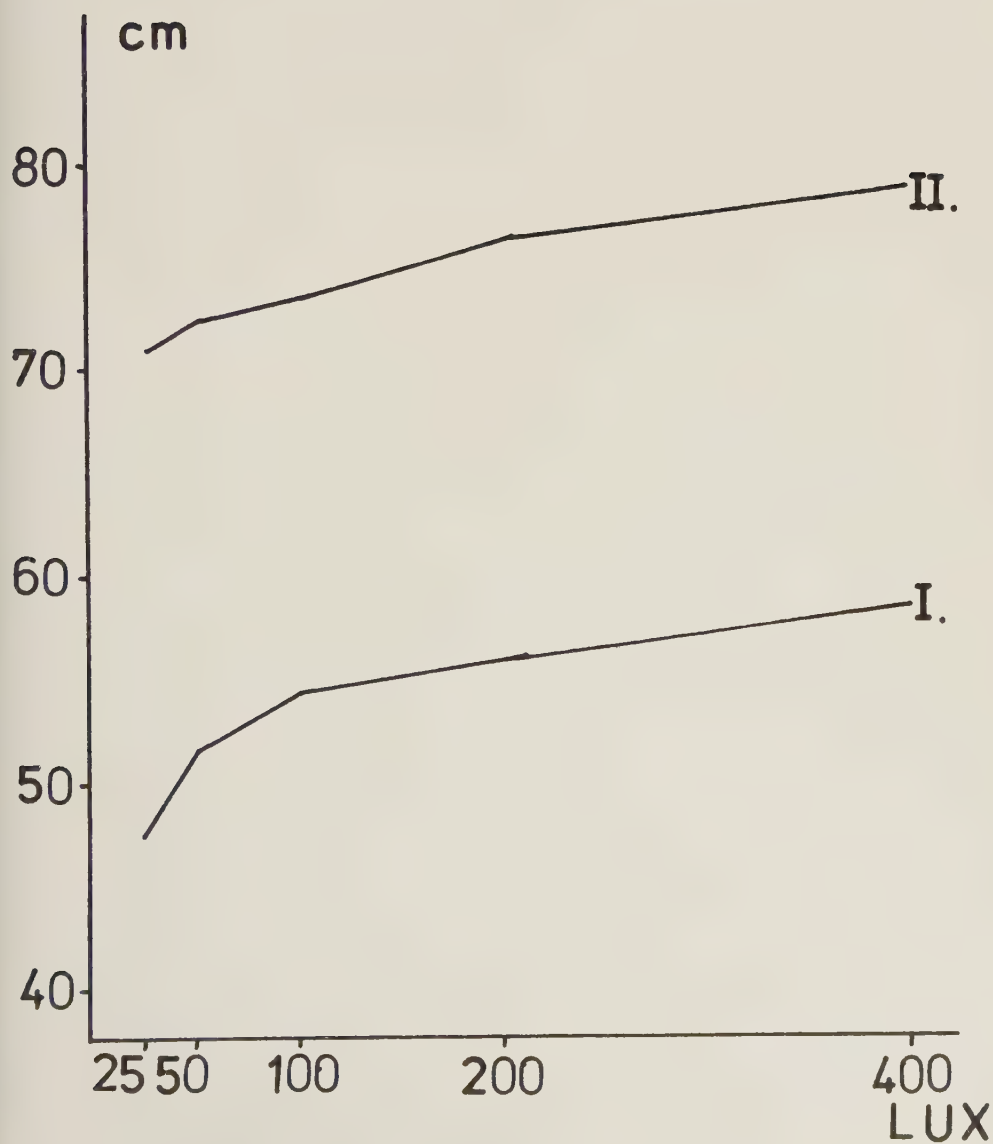
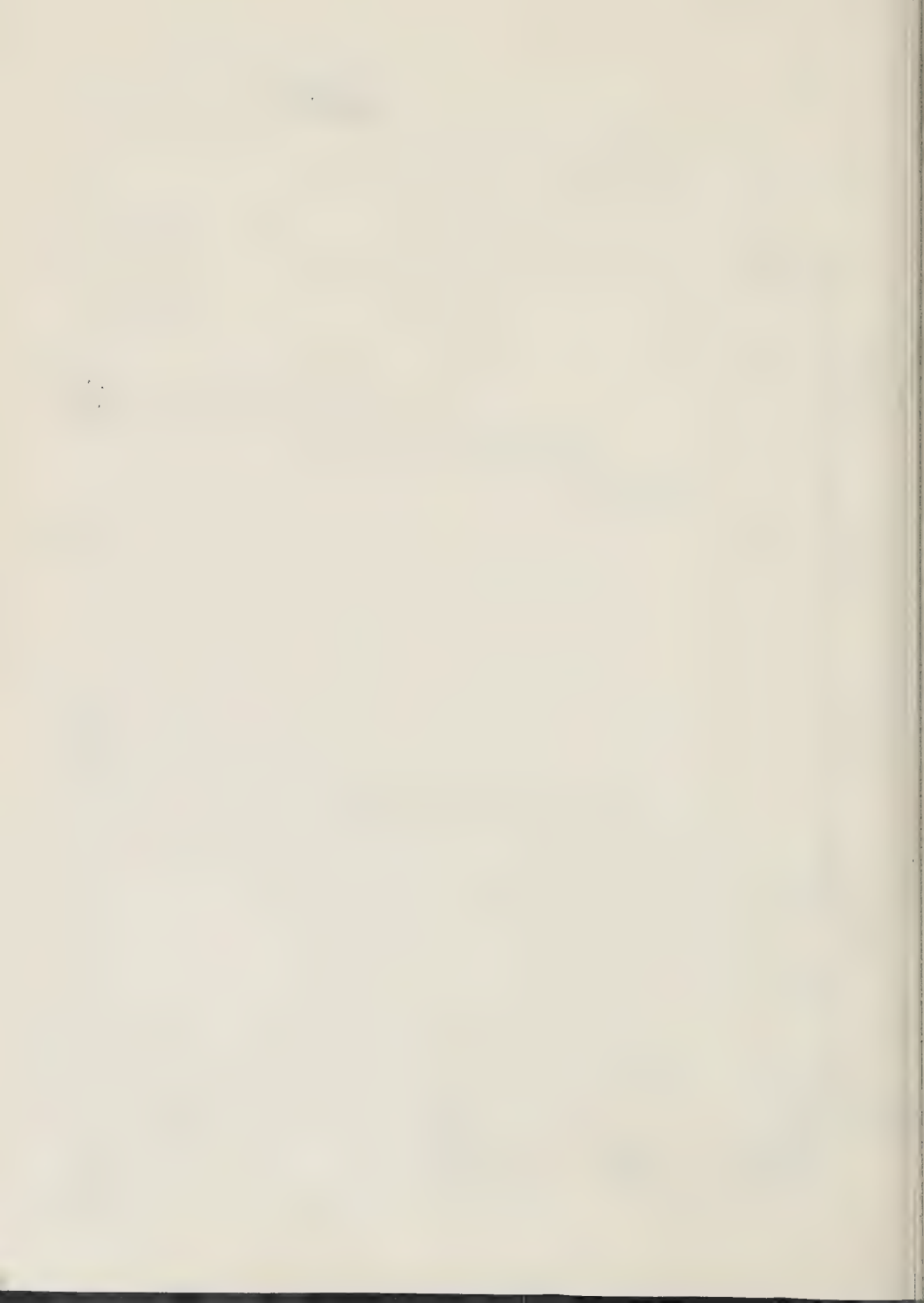
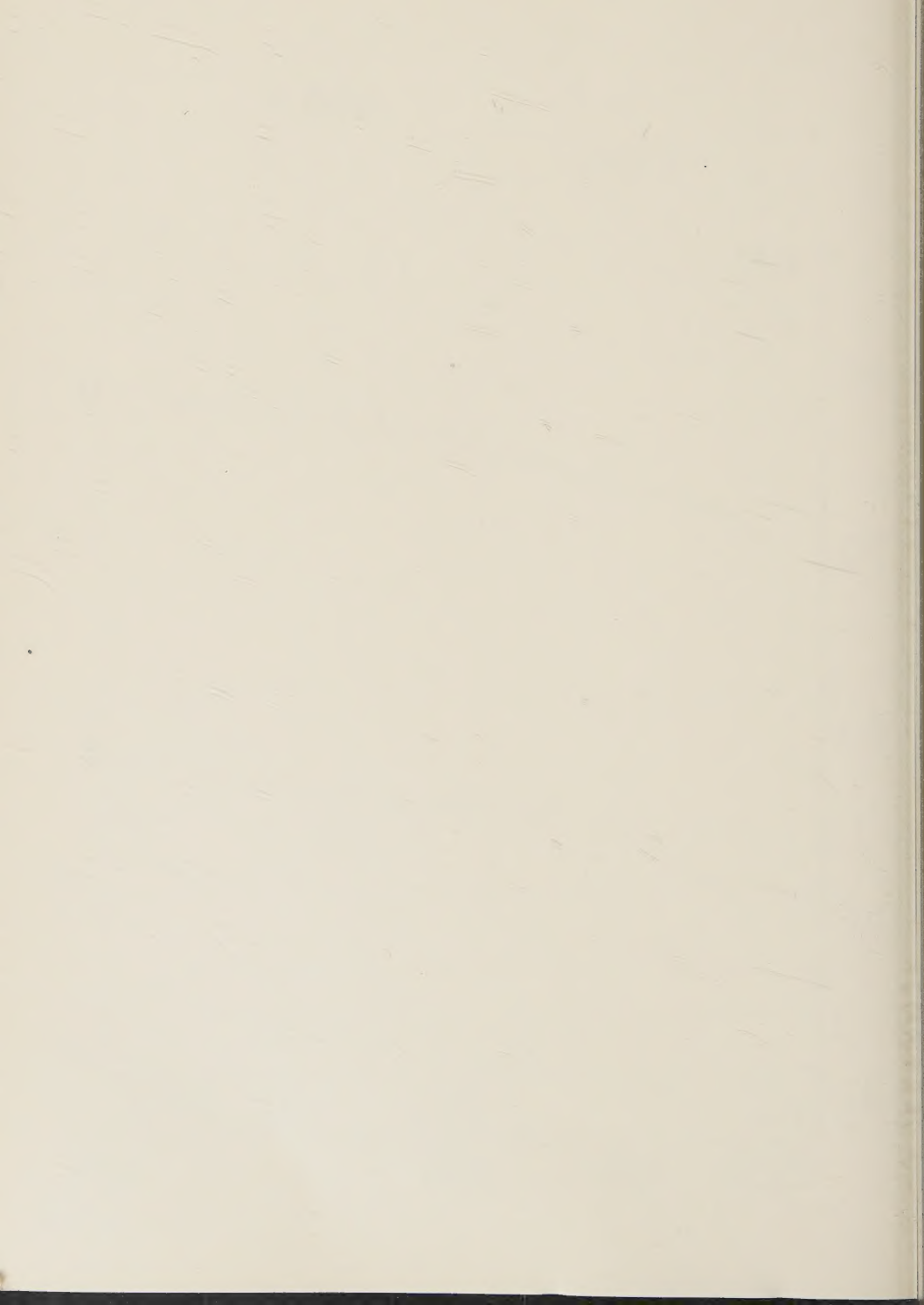


ABB.6







F. Höpfner - Dissertationsdruck - 1 Berlin 12 - Pestalozzistraße 106
Tel.: 3128885 - 3138198